

III-241 NATMにおける内空変位の最終変位量予測について

日本鉄道建設公団 札幌支社 木古内鉄道建設副所長 正会員 登坂敏雄
 日本鉄道建設公団 札幌支社 工事部長 吉田福次
 清水建設株式会社 北海道支店 第3重内トンネル作業所長 正会員 三溝 明

1. まえがき

日本鉄道建設公団札幌支社では、青函トンネル出口から木古内駅までの14.7kmを新幹線規格で現在、鋭意施工中である。当区間には大小9つのトンネル群があり、総てNATMによる機械掘削工法で施工している。トンネルの地質は新第三紀中新世の泥岩が主体であり軸圧縮強度は大意100~300kg/cm²である。

本報告は、NATMにおける各種計測のうち掘削地山の挙動を直接把握でき、有効かつ重要な指標である内空変位に着目し、統計的手法を用いてその最終変位量の予測を試みたものである。掘削初期の段階においてトンネルの内空変位の最終変位量が精度良く把握できれば、その後の変位に対する設計支保パターンの適合性の検証、事前の補強、未施工区間へのフィードバック等施工管理上の有効な一手法となり得る。

2. 現場における内空変位の計測管理

2-1. 管理基準値の設定

半無限弾性地山において、トンネル壁面変位を次式で示す範囲内に収めれば地山の崩壊を生じさせない。

$$U_r = \varepsilon_0 \cdot r$$

U_r ; トンネル壁面変位
 ε_0 ; 限界ひずみ
 r ; トンネル半径

ここで、弾性理論解等によれば切羽が到達するまでに全変位量の30%が生じ計測によって測定できるのは70%と言われている。従って当施工区間の許容内空変位量 U_r は、トンネル半径と地山特性から $\varepsilon_0 = 1\%$ とすると、 $U_r = 72\%$ と想定される。その U_r の $\frac{1}{3} = 24\%$ を管理基準値、 $\frac{2}{3} = 48\%$ を警戒値として設定し図-1に示すフローチャートと図-2に示す管理グラフによって内空変位を管理するものとしている。

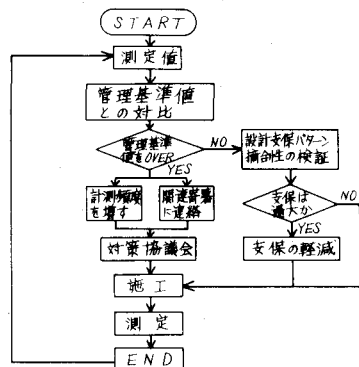


図-1 計測管理フローチャート

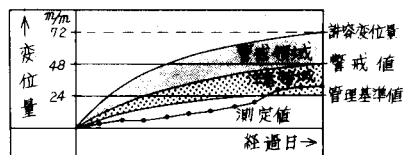


図-2 内空変位管理グラフ

2-2. 現状の問題点

日常管理として内空変位の経時変化を観測しているが、管理基準値を超過してなお上昇する傾向にあるものについて最終的にいかなる値で収束するかが問題となる。その最終値が許容範囲内に収まるか否かによって事前の補強の方法が違ってくるためである。また事前の補強が早期であればある程その効果も大きく従って補強の程度が軽減できるため一層最終値の予測を早期にすることが大きな課題となっている。

3. 最終変位量の予測

前述した現状の問題点を踏まえ支保パターンの適合性の判断や施工管理の信頼性を向上させる目的で最終変位量を統計的手法を活用して予測を試みてみる。

3-1. 重回帰分析による最終変位量の予測

図-3の如く実測した毎日の変位量から日変位速度を求め、掘削後8日目までの初期変位速度 $x_1 \sim x_8$ を説明変数とし変位量 y_i が収束した時点の値 Y を目的変数として重回帰分析を行った。その結果を以下に示す。

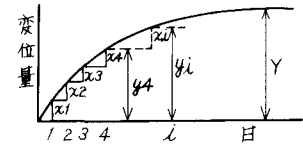
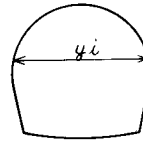


図-3 内空変位経時変化グラフ

分析-1

・重回帰式(変数増減法;説明変数 $x_1 \sim x_8$)

$$Y = 5.50 + 1.90x_1 + 3.32x_4 + 2.29x_5 + 4.81x_8$$

F値 $F_0 = 64.044 **$
寄与率 $R^2 = 0.684$

・誤差の分布

(予測値-実測値)

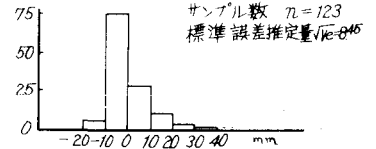


図-4 誤差のヒストグラム

分析-2

分析-1の結果実測値の x_8 が取り除かれなかったため切羽到達後8日目になって最終値の予測が出来ることになるがその時点では下部半断面の施工が通過することになり事前の補強が難しくなる。従って掘削後3日目までの初期変位速度 $x_1 \sim x_3$ を説明変数として重回帰分析を行った。

・重回帰式(説明変数 $x_1 \sim x_3$)

$$Y = 5.77 + 2.36x_1 + 1.63x_2 + 4.65x_3$$

F値 $F_0 = 44.404 **$
寄与率 $R^2 = 0.530$

・誤差の分布

(予測値-実測値)

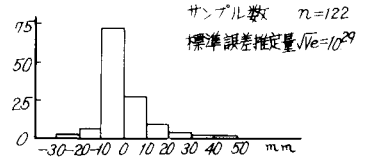


図-5 誤差のヒストグラム

3-2. 数量化I類による最終変位量の予測

重回帰分析によれば掘削後の実測される初期変位速度によって最終値の予測が出来ることがわかった。ここでは更に先手管理の一手法として、掘削直前の切羽の地山性状を観察し評価された質的なデータによって最終変位量の予測を行ってみる。

表-1のA~Iをアイテムとしてそれぞれ4つのカテゴリーに分け説明変数とし最終値 Y を外的基準として数量化I類による解析を行った。その結果を以下に示す。

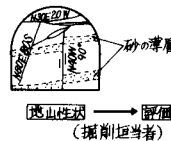


表-1 切羽観察記録表(位置が830地点)

評価項目	評価点
A 切羽性状	①安定 ②崩壊 ③崩壊 ④崩壊
B 掘削面の状態	①直立 ②崩壊 ③崩壊 ④崩壊
C 土質性状	①硬質 ②硬質 ③硬質 ④硬質
D 風化性状	①硬質 ②硬質 ③硬質 ④硬質
E 掘削面の傾斜	①垂直 ②傾斜 ③傾斜 ④傾斜
F 掘削面の形状	①直線 ②直線 ③直線 ④直線
G 掘削面の状態	①直立 ②崩壊 ③崩壊 ④崩壊
H 湧水	①なし ②湧水 ③湧水 ④湧水
I 水質性状	①硬質 ②硬質 ③硬質 ④硬質

表-2 カテゴリースコア表

アイテム	カテゴリースコア
A	0.067 -0.267
B	0.027 -0.322 -0.833 30.850
C	-0.477 0.781
D	2.279 -3.188 8.488
E	-2.300 -1.082 0.982 -1.543
F	-8.850 2.977 -2.275 11.667
G	-6.888 10.646 0.722 4.393
H	-0.061 1.441 -14.467
I	-3.033 2.249 7.740

重相関係数 $R=0.605$ 定数項;14.477

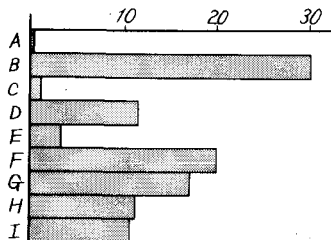


図-6 レンジ

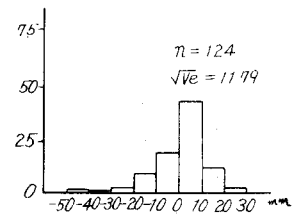


図-7 誤差のヒストグラム

4. まとめ

今回、NATMにおける最終変位量の予測を、統計手法を用いて試みてみたが、解析された結果から手法の有効性は確認できた。いづれの方法を用いるにせよそれぞれの地山に応じた施工管理や支保パターンの適合性の判断が早期に可能となる。しかし今後、手法の細部にわたる検討など残された課題も多い。又解析結果を採択するにあたっては現場における管理者の固有技術を踏えた総合的判断を必要とすることを付記しておく。